

航空系统仿真
HANG KONG XI TONG FANG ZHEN

论文集

LUN WEN JI



第一届航空系统仿真学术交流会

中国航空工业总公司科技局

一九九五年十二月

V2-53
1012

V2-53
1012-1

内部

航空系统仿真 论文集

主 编：吴永刚

副主编：高洪祥 孙如林

主 审：周自全

副主审：樊玉辰



二〇〇〇年一月十日



30801393

中国航空工业总公司科技局

一九九五年十二月 西安

801393

航空系统仿真论文集

编辑委员会

主 编：吴永刚

副 主 编：高洪详 孙如林

编 委：(以姓氏笔划为序)

王素静 孙如林 李小龙 吴永刚 汪德才

徐炳仑 聂大同 高洪祥 章伯定

主 审：周自全

副 主 审：樊玉辰

责任编辑：张永河 谷文福 王莉

發展仿真技術
加強國防建設

丁衡高

一九九五年
十月廿八日

發展仿真技術
促進國防建設

王統業

一九九五年十一月廿四日

发展仿真技术

促进航空腾飞

王昂

为加速发展飞行模拟事业而奋斗

(代序)

当今,飞行模拟已经成为航空发展不可缺少的手段。它的作用几乎贯穿于一个机种发展的全过程,从立项论证、战术指标的确定、方案选择、优化设计、试验验证、试飞员培训到试飞支持,甚至定型后的应用都离不开飞行模拟。虽然从第一台飞行模拟器的出现到现在已经有几十年的历史,但飞行模拟事业至今还方兴未艾。

在我国,从60年代初试飞院第一台有人操纵的飞行模拟器SB—6算起,我国飞行模拟器事业已经走过30年的历程。随着航空技术和其它基础技术,特别是电子技术的发展,飞行模拟技术已取得了长足的进步。我们已经能够研制具有计算机成像、六自由度运动平台、电液伺服人感、数字音响和电子显示等先进系统的地面飞行模拟器,并且具有研制空中飞行模拟器的能力。这是我们广大航空科技人员,特别是飞行模拟科技工作者辛勤耕耘的结果。然而,我们应该看到,总的来说,我们的发展速度是缓慢的,我们距世界先进水平还有相当的差距,特别是在飞行模拟应用上经验还很不足。下面就我自己的体会对我国飞行模拟事业的发展谈几点意见。

1 加强仿真逼真度的研究

仿真,顾名思义,不是真的,但很像真的。做不到这点,无论是科学研究,还是飞行员训练都不能达到预想的效果,甚至出现负效果。当然所谓逼真度也是个相对的概念,无论如何飞行模拟都不能100%达到真实的飞行性能和境界。我们的任务是通过努力,使其尽可能逼近其真。要做到这点,一是设备精良,二是数学模拟模型的正确。对于设备研制,根据不同的任务,不同的任务阶段以及经费的可能,有不同的要

求和配置。一般说来,对于原始的、方案论证性的、工程技术人员自行研究探索的飞行模拟任务设备可以简单些,综合程度可以低些,而对于驾驶员在回路中的飞行模拟设施,无论是控制律开发,飞行品质和人机工程研究,还是驾驶员培训,对设备的要求就要高得多。另外,应有较好的视景系统、人感系统、仪表显示系统、运动系统、音响系统等,特别是要注意它们的实时性和协调性。随着科学技术的进步,这些系统日臻完善,有些系统几乎能达到以假乱真的程度。

我在这里特别要强调的是数学模拟模型的正确性,这一点的重要程度要大大超过设备本身。我的观点是在人力、物力不足的情况下,宁肯设备的完善性差一点,也要把这件事做好。对于驾驶操纵来说,飞机的响应特性正确与否这是第一位的,不然的话,就是花架子,好看不好用。要使数学模拟模型正确,飞行试验是最重要的环节,一方面,飞行模拟气动参数来源于风洞,然后通过飞行试验进行对其它机种相关性研究,摸索出一套经验,使得风洞为新机提供的数据更可信可靠;另一方面通过对新机本身的飞行试验数据的验证,修正安装在模拟器中的模型。所以说飞行模拟必须与飞行试验紧密结合,飞行试验数据和试飞员的驾驶实践的经验是检验飞行模拟正确性的重要依据。

2 发挥试飞员在飞行模拟研究中的作用

一旦型号工程进入设计验证、控制律优化、人机界面选择、支持试飞等阶段,必须重视人在回路中的模拟试验。因此发挥试飞员的作用至关重要。作为设计师和工程师在选择试飞员时,要考虑两个因素:一是要选择仍在从事相应新型号或机种飞行的试飞员,而不是随便找一个停飞多年、业务生疏的飞行员。因为既然强调人在回路中的飞行模拟,人的动态行为必然影响整个回路的特性。因此,在正式验证试验中,要想得到正确的结论,必须要选择合乎要求的试飞员。二是由于通过模拟

器试验得到的结论,需要具有统计的性质,因此,最好选择多个不同经历,不同档次的试飞员进行试验。

作为参加模拟试验的试飞员,应该把每一次模拟飞行当成真正的飞行一样对待。认真准备,认真驾驶,认真体验,认真总结,认真报告。不但要努力熟悉被试“飞机”,还要了解模拟设施。在试验过程中要能自觉的区分出哪些是“飞机”的固有特性,哪些是由于模拟设施的缺陷引起的,从而在给出评价时,尽可能地扣除不是“飞机”引起的不利因素。

有条件的单位应研究出一套评价人机闭环飞行品质的定量判据和一套评价驾驶员操纵好坏的定量判据,使得我们在研究工作和培训工作更科学、更客观。

3 正确估价各类飞行模拟器的作用,统筹规划、协调发展

模拟器种类繁多,五花八门,有工程发展和研究用的模拟器,也有训练用的模拟器;有固定基座模拟器,也有活动基座模拟器。有的耗资上亿元,有的只需几十万元。

认真分析各类模拟器的优缺点,在航空工业内部统一规划,合理配置和布局各类飞行模拟器是非常必要的。

固定基座模拟器,由于没有动态反馈,对于某些人机组合不安定问题,如 PIO 的研究是不利的,其研究结果和结论很可能是偏乐观的,但是对于大量的研究课题和驾驶员训练问题都是可以解决的。按照我们的经济实力,应该说,大部分模拟器应该是固定基座的,一般来说也是够用的。

活动基座模拟器由于有动感,对于研究某些人机组合动态问题是较好的。对于少数型号总体单位和试飞单位,有选择地配备活动基座模拟器是必要的,但不一定每个总体的研制单位都搞活动基座模拟器。以色列在研制 Lavi 过程中,大量试验都在固定基座模拟器上进行,然后

到荷兰的活动基座模拟器上去验证,这是明显有效的例证,所以我们应该实事求是的根据国情,合理配置好各类模拟器。

由于地面飞行模拟具有其固有的局限性,视景模拟与实际飞行的差别,活动基座模拟器的运动平台的运动局限性和虚假性(如运动的Washout),加上各种系统的延迟及这些延迟的不同步等都会对试飞员的感觉和评定带来影响。特别是在地面,试飞员的心理状态与空中不同,这是影响驾驶员行为的重要因素。而通过空中飞行模拟,可以在很大程度上补偿这些不足。因此,开展一定的空中飞行模拟研究是非常重要的。

按照国外的经验和我个人体会,对于一个技术跨度大的重点型号和一个重大的技术攻关课题,这些模拟器的综合应用和试验结果的综合分析是最佳途径。各种飞行模拟手段的统筹布局,合理应用,既保证了各单位、各环节的应用,又突出了重点,保持了技术的先进性,节约了经费,这是我们飞行模拟专业管理部门和每个飞行模拟工作者的任务。

愿飞行模拟事业迅速健康的发展。

王 1/12-85

前 言

航空总公司于 1995 年 12 月召开第一届航空系统仿真学术交流会。大会以“发展仿真技术,促进航空腾飞”为主题,交流十年来取得的新成果、新经验、新发展。

本文集收录了 82 篇论文,约 60 多万字。这反映了航空系统仿真在仿真实理论和方法、仿真技术、仿真软件、仿真器以及仿真技术在型号研制和工程应用方面的丰硕成果。这是广大科技人员经过多年努力奋斗,付出了辛勤的劳动才取得的。在此向他们致以崇高的敬意。

文集对航空新型号研制、预研、生产、使用、教育等方面有重要价值。

文集前面的目录采用分类编排,大会交流的文章排在每类前列,其余文章以作者姓氏笔划为序。

本文集在编审出版过程中,自始至终得到国防科工委和航空总公司领导的关心。国防科工委丁衡高主任和王统业副主任分别为文集题词,航空总公司朱育理总经理亲自为文集题了书名,王昂副总经理为文集题了词,并撰写了序。航空总公司科技委、科技局领导也给予了多方面的关心和支持。同时本文集还得到试飞院、0 一四中心、六 0 二所、六一八所、六二 0 所、六二八所等单位大力配合,也得到韩宽庆教授、王行仁教授的指导,尤其是试飞院以较快的速度完成了文集的编辑、出版工作,在此表示衷心的感谢。

尽管我们的作者和编审人员悉心努力,但由于工作量大,时间紧,书中有错误和不足之处,敬请读者指正。

编 者

1995 年冬 北京

目 录

1 仿真实理论与方法	(1)
飞机飞行品质和空中飞行模拟	王 昂(1)
虚拟仿真—先期验证的强力工具	聂大同等(6)
火控仿真试验数据的统计处理	丁全心(11)
红外制导空空导弹仿真置信度分析方法研究	丁长明等(17)
空战仿真中机动策略的研究	王宏伦等(21)
重视和发展航空动力仿真技术	毕凤琴等(25)
仿真过程中飞行品质评定图形化研究	车 军(32)
相关滤波原理在 AD100 仿真中的应用	石鹏飞(40)
直升机仿真技术发展综述	白丽洁(44)
一个多边形裁剪的多余边界快速消去算法	江捧岳(51)
飞行试验研究院的空中模拟技术	吕 杰等(55)
复杂系统的时域仿真	朱雪耀(61)
一种实现仿真快速多维插值的递归算法	李小龙等(64)
飞机舵面数学模型的一种建模方法	何长安等(67)
作战飞机数据总线信息流动态特性的仿真研究	张 海等(71)
飞行控制系统仿真数据库研究及开发	宋元哲等(77)
谈虚拟现实技术的研究方向	吴永刚(82)
空战模拟的理论及计算机软件	范天国(86)
通用树状仿真体系的建立	林 胜(87)
导弹发射包线的快速模拟仿真与分析	高晓光等(95)
大型武器系统发展中经济可承受性分析及系统仿真方法的运用探讨	惠益民等(101)
航空发动机仿真模型修正方法研究	谢光华等(109)
飞行仿真系统的建模与验证	贾荣珍等(113)
系统仿真在飞行试验中的效率与效益分析	蔡小斌等(118)
2 仿真技术	(123)
一种新的飞行模拟研究工具—FTES	吕 杰等(123)
分布交互仿真与虚拟现实技术	王行仁(129)
三轴液压飞行模拟转台控制技术的研究	王道波等(130)
发动机喷口反力加载模拟装置	王道波等(138)
民用飞行训练器 FTD 的实时图形显示与控制	王金英等(142)
某型飞行模拟器连接器系统配置的几个问题	孙 辉(146)
多目标探测跟踪(MTT)数字仿真环境模拟系统	朱自谦等(147)
训练模拟器用全数字飞行仿真软件	周裕亨等(153)
新机发射导弹干扰半实物仿真	张景明(159)
一种新型高性能三轴飞行模拟转台	李秀娟等(160)

基于 MOS—电阻阵列的红外动态图像生成系统	吴永刚等(161)
飞机武器投放仿真系统(空/空机炮部分)	佟明安等(162)
攻击仿真演示中目标载机运动剖面的设计	杨治琰(170)
视景系统仿真目标运动参数的计算	杨治琰(177)
某型双转子涡喷发动机电调数字仿真控制软件	杨忠烈(183)
高技术低成本的飞行训练器(FTD)	周保顺等(188)
红外图像目标仿真器设计与研制	唐 硕等(192)
雷达目标仿真器	黄 坚(193)
飞行管理系统控制显示组件的实时仿真实现	彭俊毅等(198)
飞行模拟器数字式操纵负荷系统	彭晓源等(202)
三通道线加速度飞行模拟转台	韩朔眺等(209)
航空电子仿真系统	蒲小勃(215)
3 仿真器	(218)
航空武器系统仿真实验室的思考	吴永刚(218)
飞控系统与机载电子设备的交联仿真	申安玉(223)
民用飞机半动态计算机辅助教学系统	丁 莹等(229)
多机空战仿真系统研究	王宏伦等(234)
K—8 模型自由飞仿真系统研究	王新民等(241)
控制系统仿真及其图形显示	张 科等(247)
防区外发射空地导弹武器系统效能分析仿真研究	张 安等(250)
飞行控制系统的物理综合与仿真	宋翔贵(255)
在 AD100 上实现飞机六自由度仿真	李德全等(261)
飞机武器投放仿真系统(空/地轰炸部分)	周德云等(266)
航空发动机数控系统研制中的仿真技术	姚 华(274)
一个分布式微机数字仿真系统的设计研究与工程实现	经 彤等(282)
直升机飞控系统物理仿真试验研究	涂云鹤(289)
控制系统分析、设计与仿真 CAD 系统	唐 硕等(300)
4 仿真技术应用	(305)
动态负载仿真系统研制中的关键技术问题	阎 杰等(305)
航空发动机仿真系统的配置和应用	吴行章(310)
航空系统仿真应用与综合效益分析	高洪祥(318)
图—154M 空中飞行模拟器飞行体会	张景亭(319)
仿真技术在型号研制中的应用	向立学(325)
仿真技术在弹射救生系统中的应用	卞维平(326)
仿真技术发展和仿真试验效益分析	王素静等(332)
红外制导半实物仿真专用软件研究	王春方等(341)
数值仿真技术在飞机结构分析与设计中的应用	孙侠生等(345)
可编程序控制器在仿真设备管理上的应用	刘晓宁(351)
仿真技术在航空电子研制中的应用	李国经(355)

飞机飞行轨迹稳定性地面模拟试验·····	李翰芝(359)
航空救生座椅 0—0 仿真实验 ·····	李海龙等(364)
仿真系统的软件测试·····	张延园(370)
航空燃气涡轮发动机仿真中提高建模精度途径分析·····	杜鹤龄(374)
用于实时仿真的发动机建模技术·····	杨蔚华(384)
利用空中飞行模拟器进行电传操纵飞机驾驶员手操纵器试飞·····	袁 东(388)
“飞行导引”软件包简介·····	夏开瑶(395)
飞行训练与评定系统(FTES)的飞行模拟评价 ·····	徐勇凌(402)
歼击机空战仿真在军用飞机总体研究中的应用·····	常福忠等(411)
Ada 语言在设计实时仿真软件 AFCLSS 中的应用 ·····	潘龙翔(418)
数据库技术在仿真系统中的应用·····	蒋泽军等(423)

1 仿真实理论与方法

飞机飞行品质和空中飞行模拟

王 昂

(航空工业总公司)

摘要 本文从飞机飞行品质的观点,特别是从一个试飞员的观点阐述了飞机是一个高度综合的人机闭环系统。研究这个系统的动态品质,驾驶员在回路中的飞行模拟是必不可少的手段。本文对各类飞行模拟手段进行了比较分析,强调了空中飞行模拟的重要性。最后对我国正在研制的综合空中飞行模拟器(IFSTA)在技术方案和组织管理上提出了要求。

1 引言

新研制或新改型、改进飞机的飞行品质是任何一个飞机设计师、试验工程师和试飞员都必须考虑的重要问题。电传操纵飞机的出现,既为优化飞机飞行品质提供了前所未有的可能性,又对飞机飞行品质提出了一些新问题。无论是优化飞机飞行品质,还是解决这些飞机飞行品质的新问题,驾驶员在回路中的飞行模拟都是必不可少的手段。驾驶员在回路中的飞行模拟包括地面飞行模拟和空中飞行模拟(又名变稳飞机),而地面飞行模拟又分为固定基座飞行模拟和活动基座飞行模拟。这些飞行模拟手段都是有效的,但又各具优缺点。究竟哪一种最好,众说不一,尤其在我国更未达成共识。这不奇怪,因为我国虽然研制了一些地面飞行模拟器和单自由度变稳飞机,但总的说来,经验还不多,特别是广泛应用飞行模拟的经验不多,这就导致对飞行模拟应用及其有效性存在一些片面认识,本文力图从飞行品质的观点,从一个试飞员的观点,探讨一下这方面的问题,希望对国内飞行模拟设施的配置和应用有所裨益。

2 电传操纵飞机的飞行品质

有人驾驶飞机的动态品质必须计及驾驶员的行为特性,它是一个高度综合的人机闭环系统。在这个系统之中,任何一个单元特性,如人感系统、飞控系统、飞机本体、跟踪显示系统及驾驶员本身的特性都会影响全系统特性和任务的完成。但是我们在分析这个系统时,不能只孤立地去研究每个独立单元特性,还要考虑它们之间的耦合。也就是说,即使每个单元都具有可接受的特性,组合起来不一定会被接受,所谓驾驶诱发振荡就是人机之间耦合而造成的不安定现象。

对于所有有人驾驶飞机都有人机耦合问题,但对于电传操纵飞机,这个问题有可能更为突出,原因是:

a. 对于电传操纵飞机的飞行品质,设计师总是力图配置到最佳状态诸如操纵响应快,机动性好;加上机体放宽静稳定性,靠系统来增稳,这些因素使电传系统具有高增益;

b. 电传操纵系统复杂, 环节多, 是一个典型的非线性高阶系统, 加上数字式飞控计算机的应用, 使得系统纯时间延迟大。

上述两种因素对一般性的非紧急、非精确操纵任务, 如巡航、待机等没有明显的影响; 但对于一些高增益、精确操纵任务, 如进场着陆、目标跟踪、空中加油、密集编队等就会产生很大影响。驾驶员在紧急操纵时, 因为时间延迟造成起始飞机不响应, 驾驶员得不到及时的运动反馈, 就会有意识地加大操纵, 此时由于系统增益高, 很容易形成过量响应。待到驾驶员意识到后再反向修正, 又进入下一个循环, 飞机总是处在一种要么不动, 一动就过头的周而复始的状态之中。一旦进入这种状态驾驶员必然处在一种高增益的紧张状态, 越临近危险, 增益越大, 动作越粗, 与飞机运动耦合越紧, 越发不可收拾, 直至造成事故, 这就是驾驶诱发振荡的基本机理。

解决这个问题的难度在于: 对设计师来说, 他要面临各种飞行状态和任务环境, 同时要考虑执行操纵任务的驾驶员, 包括那些经验不足的飞行员, 对于参加控制律优化试验、试飞的试飞员来说, 他对飞行品质的评定是控制律参数确定的依据, 但他不能只根据自己的经验和水平去下结论, 他还要考虑到其他驾驶员的经验、水平和习性去下结论。这就是为什么飞行控制律很难达到“优化”的原因, 也就是为什么同一种飞机的飞行品质有的驾驶员觉得很好, 而别的飞行员可能摔飞机, 甚至同一驾驶员前面飞得很好, 后来还摔飞机的原因。

美国的 F-16、F-17、F-18、YF-22, 瑞典的 JAS-39、日本的 T2CCV 等试飞中都出现过驾驶诱发振荡问题, 其中 JAS-39、YF-22 都因此而摔过飞机。我国的 ACT 试验机出现的二等事故也是这个问题造成的。由于人感系统给驾驶员提供的动态操纵力比正常飞机轻得多, 即系统动态增益大, 当飞机进场着陆时, 飞机容易拉飘, 具有驾驶诱发振荡趋势, 在飞机着陆的紧急情况下, 驾驶员把握不住杆量, 甚至出现拉、推到极限位置的情况, 加上控制律软件设计中没有考虑到这种过量操纵, 造成计算机溢出, 平尾锁在极限位置飞机无法控制操纵, 迫使驾驶员弃机跳伞。很显然造成这次事故的根本原因是由于飞行品质问题。

值得注意的是, JAS-39、YF-22 和 ACT 试验机出现的事故都发生在进场着陆的过程中, 这再一次提醒了我们的飞行力学和飞控专家要特别注意这个阶段的飞行品质问题, 一旦有问题, 驾驶员没有足够的时间和空间作应急处理。

评价飞机飞行品质有两种方法, 一种是专家根据试验试飞数据结果与现在的飞行品质规范和数据比较, 看其符合性, 称之为客观法; 另一种是凭试飞员的操纵感觉和评定, 并给出定量的飞行品质等级, 称之为主观法。

由于飞行品质规范和数据是根据大量飞机使用积累数据和试验机试验数据统计而制订的, 因此它往往落后于航空技术的发展。这就使得对那些采用跨度较大的新技术试飞, 对试飞员的主观评定有可能成为一种主要鉴定方式。

今年初我去西欧访问, 飞了 A320 的加长型改型机 A321。这是一架侧杆操纵的电传飞机。我从未飞过这种飞机, 甚至连它的模拟器也未飞过; 而且与我过去右手操纵中央杆、左手操纵油门的习惯不同, 这次是我飞左座(机长位置)所以是左手操纵侧杆、右手操纵油门; 飞行前主人只告诉我四个数据, 即决策速度、抬前轮速度、爬高速度和进场速度。按照他的要求, 我很容易地适应了操纵, 顺利地、成功地完成了飞行。我感到不需要特殊的操纵技巧, 不需要过度的驾驶员补偿, 不需要额外的驾驶员负荷就可以完成给定的任务。什么叫满意的飞行品质? 这就是很好的例子。主人告诉我, 达到这样优良的飞行品质是通过大量的领先研究才得以实现的, 特别是通过了大量的飞行模拟(包括空中飞行模拟)试验。据说首飞前控制律的修改不下四、五

百次。

这说明优良的飞行品质是能达到的,但要付出巨大的劳动和昂贵的代价。然而为了保证飞行安全,为了得到一架成功的飞机,只能如此,别无选择。

3 空中飞行模拟的地位和作用

如前所述,研究飞机飞行品质,或者对电传操纵飞机的控制律优化,飞行模拟是最有效的手段。但是对飞行模拟研究的结果应该有清醒的认识和具体分析。固定基座地面模拟器有效、安全、出勤率高、经济性最好,而且可与铁鸟台联用,硬件软件一起联试,既考验了飞控软件运行的正确性,又检验了某些关键硬件(如飞控计算机、舵机等)工作的可靠性,是飞控系统研制最基本的设施。但是,作为驾驶员在回路中的飞行品质模拟,由于没有给驾驶员提供运动感觉,驾驶员仅靠视觉反馈闭合操纵回路,这样就很难反映出驾驶诱发振荡这类人机高度耦合的飞行品质问题。

活动基座飞行模拟器提供某些动感,能提供驾驶员初始操纵响应,这对研究人机系统动态响应品质是很重要的。从这个意义上讲它优于固定基座飞行模拟器。但应该看到活动基座所提供的过载感觉是经过数学处理的,无法提供哪怕超过 0.5 秒以上的持续过载。加上运动平台附加的时间延迟,以及这种时间延迟与视景系统时间延迟的不同步性等都会造成驾驶员的感觉失真,从而影响驾驶员“飞行”评定结论的可信性,特别是对那些高驾驶员增益的飞行任务。

还有一个影响地面飞行模拟结论可信度的重要因素是驾驶员心理状态。无论是固定基座还是活动基座的地面模拟器都是在“地面”,驾驶员不担心会有掉飞机的后果,所以心态平稳,即使在“紧急”情况下,驾驶员的增益也会被平滑,不容易出现驾驶诱发振荡的现象,因此地面模拟的结果和结论往往是偏于乐观的。

空中飞行模拟在真实的飞行环境中进行,驾驶员对视景和飞机运动的感觉是真实的,驾驶员的心理状态也是近乎真实的,因此其模拟效果和结论应更好更可信。当然空中飞行模拟受到原型机特性的限制使其研究的范围受到限制,而且空中飞行模拟本身也具有一定的风险性,因此它代替不了地面飞行模拟。

所有的飞行模拟都有一个致命的问题,即模拟逼真度还取决于数学模型的正确性和参数的准确性。这只有通过被模拟飞机真实试飞来检验。

正因为所有飞行模拟手段各具优缺点,加上使用这些手段的驾驶员存在个体差异,各自的擅长和随能力不同,因此很难得出一致的意见:哪种手段最好?通常的作法是:对于一种新型号,一个新课题,各种模拟手段并用,取长补短,互为补充,相互印证。根据这种思路,美、俄等航空大国除了大量发展各类地面飞行模拟器外,还大力发展空中飞行模拟器。据统计,自 1948 年末第一架变稳飞机问世以来,世界上研制和使用的空中飞行模拟试验机近百架,其中美国近半。特别是电传操纵飞机出现后,更显得空中飞行模拟的重要性。如美国的 YF—16、YF—17、F—18、X—29,俄罗斯的 CY—27、TY—204 等电传操纵飞机的控制律都事先在变稳飞机上试验过。有些国家,如以色列、瑞典、印度尼西亚等没有自己的变稳飞机,但它们的电传操纵飞机 LAVY、JAS—39 和 N—250 支线飞机的控制律都分别到美国的变稳飞机上进行了空中飞行模拟验证。其中瑞典的 JAS—39 是在出现飞行事故之后到美国去补飞变稳飞机的。

当然也有少数电传操纵飞机没有经过空中飞行模拟验证,这要视其所采用的新技术的成熟程度。但大多数电传操纵飞机都经过了这一阶段。